Stage de fin d'études

Développement des méthodes Hybrid High-Order pour la simulation du contact-frottement pour des études industrielles

EDF R&D - EDF Lab Paris-Saclay

Mission : Développement des méthodes Hybrid High-Order pour la simulation du contact-frottement pour des études industrielles

Mots-clés : Contact-frottement ; Mécanique non-linéaire ; Eléments finis ; Etudes industrielles ;

Contexte général

`code_aster` [5] (www.code-aster.org) est un logiciel libre de simulation numérique en mécanique des structures, développé principalement par le département Électrotechnique et Mécanique des Structures (ERMES) d'EDF R&D. Ce logiciel de calcul par éléments finis est conçu pour des applications industrielles exigeantes. Il utilise des méthodes de pointe proches des standards actuels en recherche, et est notamment conçu pour traiter des problèmes complexes et non-linéaires.

Dans le cadre des études industrielles, les problèmes de contact-frottement sont fréquents et représentent un enjeu majeur de modélisation dans `code_aster`. De nouvelles approches de résolution de ces problèmes ont été implantées dans le logiciel, en particulier une approche par Lagrangien augmenté [1, 4] et une approche par pénalisation, dérivée de cette dernière.

Objectifs du stage et missions confiées

Ce stage consiste à développer et valider les méthodes Hybrid High-Order (HHO, [2, 3]) pour le contact-frottement avec un Lagrangien augmenté. Les méthodes HHO permettent de résoudre les problèmes d'incompressibilité avec une formulation primale. Cette propriété est essentielle pour les simulations numériques de contact-frottement impliquant des matériaux (quasi-)incompressibles, comme les joints d'étanchéité. Disposer d'une méthode robuste et compatible avec ce type d'éléments représente donc un atout majeur. Du point de vue la méthode HHO, la modélisation du contact avec HHO est la dernière brique majeure manquante pour ces méthodes.

Le stage se déroulera en plusieurs étapes, permettant au stagiaire de prendre en main `code_aster` et la simulation du contact-frottement, tout en contribuant concrètement à l'avancement des travaux. Les principales missions seront les suivantes :

- **Prise en main le méthode HHO et la formulation du Lagrangien augmenté** :
  - Appropriation du logiciel `code_aster`,
  - Compréhension de la nouvelle formulation de contact-frottement pour HHO,
  - Développement et vérification de la méthode sans frottement sur des tests académiques comme le problème de Taylor et de Hertz,
  - Ajout du frottement,
  - Si le temps le permet, validation sur des cas plus complexes,
  - Rédaction du rapport de stage.

Le (ou la) stagiaire sera accueilli(e) au sein d'une équipe d'ingénieurs-chercheurs du département ERMES (Électrotechnique et Mécanique des Structures) de EDF R&D, pour une durée de 6 mois. Le profil recherché correspond à celui d'un(e) élève ingénieur(e) en fin de cursus, spécialisé(e) en méthodes numériques appliquées à la modélisation, faisant preuve d'autonomie, de curiosité et de motivation. Une bonne maîtrise des bases en mécanique et simulation numérique est nécessaire pour ce stage, ainsi qu'une expérience préalable dans l'utilisation d'un logiciel de calcul par éléments finis.

Profil recherché

- **Niveau de formation :** Master 2 ou 3ème année d'école d'ingénieur
- **Compétences recherchées :** Elements Finis ; Analyse numérique ; Calcul scientifique ; Utilisation d'un logiciel de simulation par éléments finis sera appréciée. Des connaissances dans l'utilisation du logiciel `code_aster` constituent un plus.

Déroulement du stage

- **Durée du stage :** 5 à 6 mois
- **Date possible de début du stage :** 2027 ; Idéalement durant la première moitié de 2027, par exemple : 01/04/2027
- **Équipe d'accueil :** Outils de simulation en mécanique (T6A) - Département Électrotechnique et Mécanique des Structures (ERMES)
- **Localisation :** EDF Lab Paris-Saclay ; 7, boulevard Gaspard Monge, 91120 Palaiseau

Informations complémentaires

- **Rémunération :** Le montant de la gratification de stage varie entre 1100 et 1500 euros bruts mensuels (calculé comme un pourcentage donné du SMIC) en fonction du niveau d'études (Bac+4/+5). Une aide au logement d'un montant d'environ 200 euros est également possible.
- **Accès au site :** Le site est accessible via les lignes de bus 46.06 (anciennement 91.06) et 5154 (anciennement 91.10). Depuis Paris, l'accès au site EDF Lab Paris-Saclay est possible via un système de navettes, au départ de la Porte d'Orléans. Les frais de transport en commun sont remboursés à hauteur de 75%.
- **Télétravail :** Le télétravail est possible à hauteur de 1 jour par semaine.

Contacts

- Eki AGOUZAL - eki.agouzal@edf.fr
- Nicolas PIGNET - nicolas.pignet@edf.fr

Références

[1] Eki Agouzal, Nicolas Tardieu, Nicolas Pignet, and Mickael Abbas. A regularized augmented lagrangian mortar framework for contact-friction in large deformations using ray-tracing. 2026.

[2] Matteo Cicuttin, Alexandre Ern, and Nicolas Pignet. *Hybrid high-order methods : a primer with applications to solid mechanics*. Springer, 2021.

[3] Nicolas Pignet. *Hybrid high-order methods for nonlinear solid mechanics*. PhD thesis, Université Paris-Est Marne la Vallée, 2019.

[4] Konstantinos Poulios and Yves Renard. An unconstrained integral approximation of large sliding frictional contact between deformable solids. *Computers & Structures*, 153 :75–90, 2015.

[5] Électricité de France. `code_aster` - Analysis of structures and thermomechanics for studies and research. Open source on www.code-aster.org, 1989–2025. URL www.code-aster.org.